УДК 004.932.2:004.8

И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Науки, 14, г. Харьков, 61022

ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ПЕРЕМЕННЫХ РАЗРЕШЕНИЯ И РАЗМЕРОВ ПРИ НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

I.B. Chebotarova, N.Ye. Kulishova
Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine
Nauka Ave, 14, Kharkov, 61022

MEMBERSHIP FUNCTIONS FOR A RESOLUTION AND SIZE VARIABLES IN FUZZY IMAGE QUALITY EVALUATION

В статье рассматривается способ формирования терм-множества для лингвистических переменных «Размер изображения» и «Разрешение изображения». Описаны процедура построения и аппроксимации функций принадлежностей данных лингвистических переменных и проведения экспертного оценивания субъективных характеристик изображения для определения границ нечетких оценок разрешения и размеров изображения. Данный подход позволяет формализовать процедуру классификации цифровых оригиналов по разрешению и размеру.

Ключевые слова: нечеткие оценки, лингвистические переменные, цифровые изображения, размер, разрешение.

In the article the method of forming the term set of "Image Size" and "Image resolution" linguistic variables is considered. The procedure of building and approximation of these linguistic variables membership functions and expert estimation of subjective image characteristics to determine the boundaries of the resolution and image size fuzzy estimates is described. This approach allows formalizing the procedure of digital originals classification by the resolution and size.

Keywords: fuzzy estimation, linguistic variables, digital images, size, resolution.

Постановка проблемы

На основе современных методов анализа изображений можно эффективно решать многие проблемы в полиграфической отрасли. Обычно полиграфические предприятия получают уже готовые макеты полиграфической продукции, но в настоящее время, когда идет борьба за каждого заказчика, небольшие предприятия могут работать и с исходными, почти не обработанными изображениями. Например, когда готовятся объемные печатные каталоги или срочно печатается большой тираж цифровых фотографий. Поэтому возникает большая группа ошибок, связанная с исходными дефектами изображений (шум, нечеткость, неправильное разрешение или размер и пр.). Если формализовать процедуры проверки и оценки цифровых оригиналов, то можно разработать процедуры автоматического улучшения полученных оригиналов и автоматизировать данный этап допечатной подготовки. Для этого необходимо решить задачу классификации искажений (ошибок) цифровых оригиналов, которые в большинстве случаев невозможно оценить объективно численными методами [1].

Одними из эффективных инструментов решения данной проблемы являются элементы теории принятия решений – в частности, методы экспертных оценок и нечетких знаний, позволяющие формализовать мнение группы экспертов о конкретных дефектах [2].

При анализе изображений выделяют объективные и субъективные характеристики. Объективные характеристики – это атрибуты изображений, которые связаны с природой зрительного восприятия, представлением и обработкой цифровых изображений на компьютере. Субъективные оценки выражаются в форме лингвистических переменных. Такой подход дает приближенные, но, в то же время, эффективные способы

описания явлений достаточно сложных и неопределенных, которые не поддаются точному математическому анализу [3].

Анализ последних достижений и публикаций

Качество цифрового изображения - сложное и трудно формализуемое понятие. Иногда качество рассматривается как характеристика самого изображения и определяется его собственными свойствами (статистическими, структурными, семантическими). К нынешнему моменту разработано множество количественных оценок качества изображений [4-6]. Однако введенные критерии не являются достаточно совершенными: большинство попыток найти приемлемые оценки качества изображения относится только к частным случаям. Создание более совершенных оценок качества изображений должно быть связано с более полным учетом свойств зрительного восприятия человека [1]. Для автоматизации процедур улучшения качества цифровых изображений, должна быть решена задача анализа и классификации цифровых оригиналов, с которыми работают дизайнеры, и выделены основные атрибуты изображений, важные при репродуцировании [1]. Описание данной задачи удобно выполнять с помощью лингвистических переменных, для которых необходимо описать терм-множества и построить соответствующие функции принадлежности, определяющие граничные значения термов [7].

Данный подход был впервые предложен Л.Заде [8]. В настоящее время системы, основанные на нечетких множествах, разработаны и успешно внедрены в таких областях, как: управление технологическими процессами, управление транспортом, медицинская диагностика, техническая диагностика, финансовый менеджмент, биржевое прогнозирование, распознавание образов [9-12].

Оценка качества цифровых изображений, основанная на использовании лингвистических переменных, описана в работе [13].

Постановка задачи исследования

В данной работе рассматривается способ формирования терм-множества для лингвистических переменных «Размер изображения» и «Разрешение изображения» и множества значений U соответствующей базовой переменной u.

Решение этой задачи предлагается осуществить в несколько этапов:

1) подготовить тестовый набор изображений с учетом требований и пожеланий полиграфических предприятий;
2) выполнить количественный анализ тестовых изображений расчетными методами для получения множества значений U базовой переменной u;
3) сформировать терм-множества для каждой из переменных $T = \{T_i\}$;
4) выполнить субъективный анализ изображений наблюдателями-экспертами;
5) сравнить оценки изображений, полученные количественными и субъективными методами.

Используя нечеткие границы, полученные в результате экспертного оценивания, построить функции принадлежности для каждого терм-множества лингвистических переменных «Размер изображения» и «Разрешение изображения» для формализации процедуры классификации цифровых оригиналов по данным характеристикам.

Описание эксперимента

Каждый атрибут изображения можно описать с помощью лингвистической переменной, которая принимает определенное значение, характеризующее качество изображения. Лингвистическая переменная – это переменная, принимающая значения из множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка.

Оценка качества изображений производится с помощью метода лингвистических переменных. При этом используются нечеткие оценки цифровых оригиналов.

Для каждой лингвистической переменной был определен набор термов и базовые переменные, позволяющие количественно оценить соответствующие лингвистические переменные. В данной работе рассматриваются такие переменные, как «Размер изображения» и «Разрешение изображения». Для них определены следующие термы:

Т «Размер изображения» = *Очень малый* + *Малый* + *Средний* + *Большой* + *Очень большой.*

Т «Разрешение изображения» = *Очень малое* + *Малое* + *Среднее* + *Большое* + *Очень большое.*

Формирование исходной информации для построения функций принадлежности выполняется методом группового опроса экспертов (модифицированный метод «Дельфи») [14]. В опросе принимали участие 7 экспертов. Было оценено 160 цифровых изображений.

При экспертном оценивании в качестве исходных данных были выбраны наиболее распространенный размер печатной продукции - А4 (210х297 мм) и стандартное разрешение при печати - 300 dpi.

В результате экспертного оценивания, были определены граничные значения для каждого терма, которые необходимы для построения функций принадлежности лингвистических переменных «Разрешение изображения» и «Размер изображения».

Конкретный вид функций принадлежности определяется на основе различных дополнительных предположений о свойствах этих функций (симметричность, монотонность, непрерывность первой производной и т.д.) с учетом специфики имеющейся неопределенности, реальной ситуации на объекте и числа степеней свободы в функциональной зависимости [10, 12].

Для лингвистической переменной «Разрешение изображения» предлагается использовать кусочно-линейные функции принадлежности – треугольные и трапециевидные. Треугольная функция используется для терма T_3 и, в общем случае, может быть задана аналитически [12]:

$$f_{\Delta}(x;a,b,c)=\begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le c \le x \\ 0, & x > c \end{cases}, \qquad (1)$$

где a, b, c – некоторые числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные отношением: $a \le b \le c$. Параметры a и c характеризуют основание треугольника, параметр b – его вершину.

Трапециевидная функция принадлежности (термы T_1, T_2, T_4, T_5) задается следующим выражением [12]:

$$f_T(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0, & x \le a\\ \frac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b\\ 1, & b \le x \le c\\ \frac{d-x}{d-c}, & c \le x \le d\\ 0, & x > d\end{cases}, \quad (2)$$

где a, b, c, d – числовые параметры, принимающие произвольные действительные значения и упорядоченные отношением: $a \le b \le c \le d$. Параметры a и d характеризуют нижнее основание трапеции, а параметры b и c – верхнее основание трапеции.

На основе результатов опроса экспертов были получены граничные значения разрешения для каждого терма лингвистических переменных «Разрешение изображения» и «Размер изображения». Они представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Граничные значения разрешения

Терм	**Характеристика изображения**	**Значение базовой переменной (разрешение, dpi)**	
		Граничные значения	Точки пересечения
T_1 = Очень маленькое	значительно меньше заданного разрешения, его увеличение приведет к потере качества, использовать данное изображение нецелесообразно	a = 0, d = 170	135
T_2 = Малое	разрешение немного меньше, чем требуется для печати, в дальнейшем требует незначительного увеличения с малой потерей качества	a = 90, d = 310	135, 275
T_3 = Среднее	стандартное разрешение, заданное для печати (300 dpi), используется без каких-либо изменений	a = 250, c = 350	275, 325
T_4 = Большое	немного превышает заданное значение, в дальнейшем требует незначительного уменьшения без потери качества	a = 300, d = 400	325, 390
T_5 = Очень большое	значительно превышает заданное разрешение, в дальнейшем требуется уменьшение разрешения, возможна потеря качества, появление шума и дополнительных артефактов	a = 380, d = 500	390

Граничные значения размера изображения (его площади) для каждого терма представлены в таблице 2.

Таблица 2. Граничные значения размера

Терм	**Характеристика изображения**	**Значение базовой переменной (площадь, мм²)**	
		Граничные значения	Точки пересечения
T_1 = Очень маленький	значительно меньше формата печати, масштабирование приведет к потере качества, поэтому использовать данное изображение нецелесообразно	a = 0, d = 8350	4300
T_2 = Малый	немного меньше, чем требуется для печати, в дальнейшем требует незначительного масштабирования (увеличения) с малой потерей качества	a = 1960, d = 44300	4300, 26000
T_3 = Средний	подходит по формату, может использоваться без масштабирования	a = 13765, d = 99900	26000, 84000
T_4 = Большой	немного превышает размер печати или вписывается в заданный формат, но в дальнейшем требует незначительного масштабирования	a = 60000, d = 450000	84000, 350200
T_5 = Очень большой	значительно превышает размер печати, в дальнейшем требует масштабирования (уменьшения), возможна потеря качества	a = 200100, d = 500800	350200

Теперь, с использованием числовых параметров формы функций принадлежности, для термов лингвистической переменной «Разрешение изображения» можно построить их графики. Они изображены на рисунке 1.

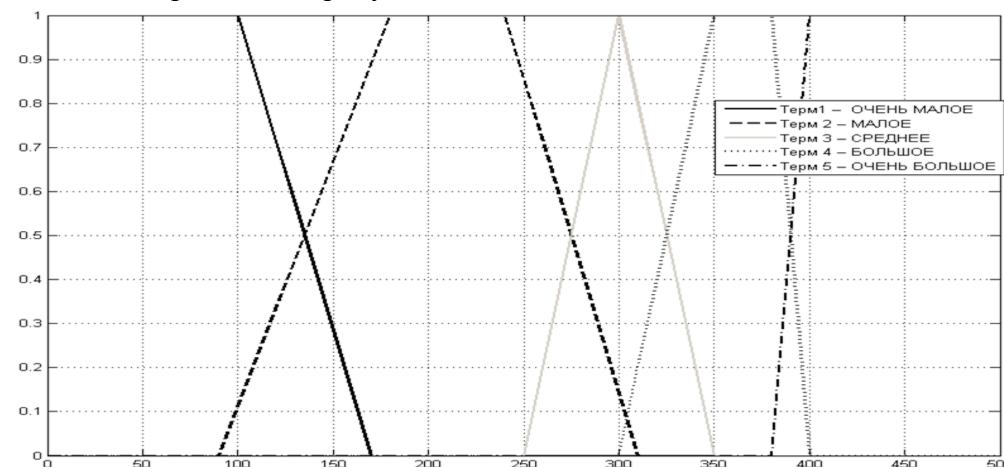


Рис. 1. Функция принадлежности для лингвистической переменной «Разрешение изображения»

Опросы экспертов о категориях размера изображения и их численных значениях показали, что для термов этой лингвистической переменной необходимо выбирать не кусочно-линейные, а гладкие функции. Гладкие функции принадлежности обеспечивают отсутствие разрывов производных и больше соответствуют представлениям экспертов о характере изменения меры принадлежности с изменением

базовой переменной. После анализа исходной информации, для лингвистической переменной «Размер изображения» были построены функции принадлежности на основе полиномиальных кривых: Z-функции (*zmf*), PI-функции (*pimf*) и S-функции (*smf*) [15]. Функция *zmf* представляет собой асимметричную полиномиальную кривую, открытую слева (терм T_1), функция *smf* – зеркальное отображение функции *zmf* – открыта справа (терм T_5). Функция *pimf* (термы T_2, T_3, T_4) равна нулю в правом и левом пределах и принимает значение, равное единице, в середине некоторого отрезка (рис. 2, 3). Для наглядности построения, на рис. 2 представлены первые три терма в большем масштабе.

Аналитически функции принадлежности на основе полиномиальных кривых описываются следующими выражениями [12]:

$$f_{zmf}(x;a,b)=\begin{Bmatrix} 1, & x\le a \\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2, & a<x\le\dfrac{a+b}{2} \\ 2\left(\dfrac{b-x}{b-a}\right)^2, & \dfrac{a+b}{2}<x<b \\ 0, & b\le x \end{Bmatrix}, \tag{3}$$

$$f_{pimf}(x;a,b)=\begin{Bmatrix} 0, & x\le a \\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2, & a\le x\le\dfrac{a+b}{2} \\ 1, & b\le x\le c \\ 1-2\left(\dfrac{x-c}{d-c}\right)^2, & c\le x\le\dfrac{c+d}{2} \\ 2\left(\dfrac{x-d}{d-c}\right)^2, & \dfrac{c+d}{2}\le x\le d \\ 0, & x\ge d \end{Bmatrix}, \tag{4}$$

$$f_{smf}(x;a,b)=\begin{Bmatrix} 0, & x\le a \\ 2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2, & a<x\le\dfrac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\dfrac{x-b}{b-a}\right)^2, & \dfrac{a+b}{2}<x<b \\ 1, & x\ge b \end{Bmatrix}. \tag{5}$$

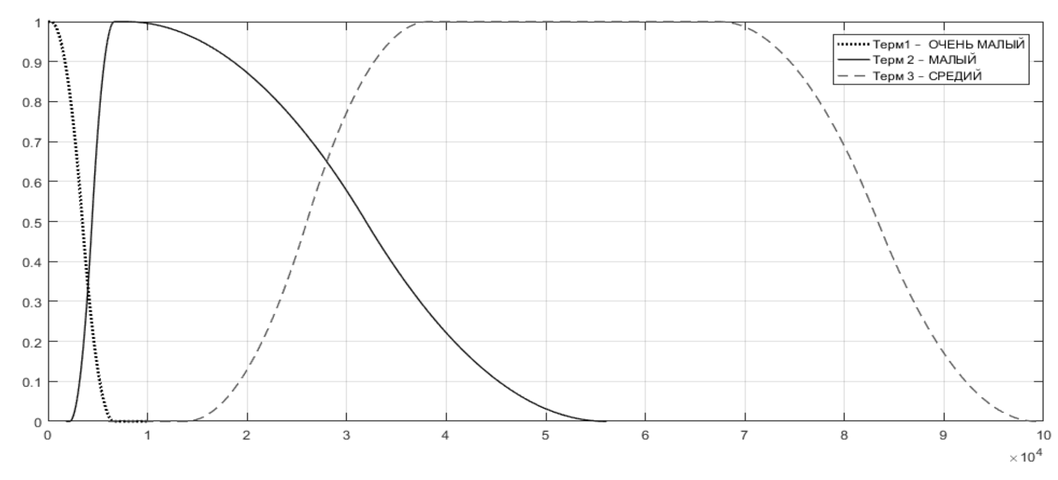


Рис. 2. Графики функции принадлежности для термов «Очень малый», «Малый» и «Средний» лингвистической переменной «Размер»

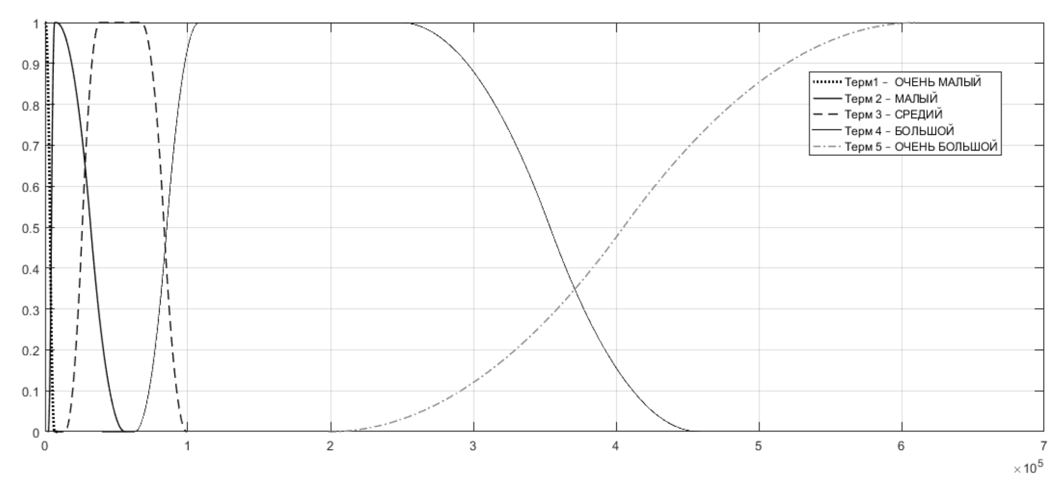


Рис.3. Функции принадлежности для лингвистической переменной «Размер»

Для построенных функций принадлежности была также выполнена их аппроксимация (рис. 4), чтобы обеспечить единичное разбиение Руспини, т.е. выполнение условия $\sum_{i=1}^{n}\mu_i(x)=1$. Результаты аппроксимации представлены на рис. 4.

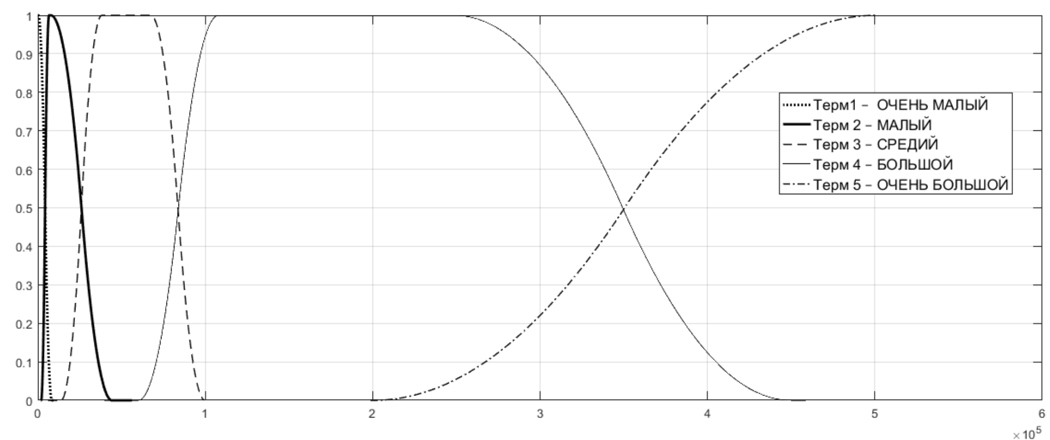


Рис.4. Функции принадлежности для лингвистической переменной «Размер» после аппроксимации

Выводы

В работе рассмотрен способ формирования терм-множеств для лингвистических переменных «Разрешение изображения» и «Размер изображения». Эти терм-множества используются при построении функций принадлежности, необходимых для оценивания качества изображений. Полученные функции принадлежности дают возможность определить интервалы значений базовых переменных, каждый из которых соответствует значению нечеткой переменной, т.е. характеризует определенное свойство оригинала. Разбивая шкалу значений базовых переменных на интервалы, процесс оценки качества изображений становится автоматизированным при последующем анализе изображения. Таким образом, формируется целая система показателей, которые характеризуют качество оригинала на этапе допечатной подготовки, и количественно отражают степень близости показателя к предельным значениям. Построенные функции принадлежности позволяют формализовать нечеткую базу знаний для принятия решений по задаче классификации искажений цифровых оригиналов и автоматизировать процедуры улучшения их качества.

Литература

1. Чеботарева И.Б. Автоматизация обработки изображений в открытых полиграфических системах / И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова, П.Н. Маслов, В.А.Маслова // Тез. докл. III Международ. научн.-практич. конф. «Информационные системы и технологии». – 2014. – С. 230-231.
2. Кулишова Н.Е. Этапы разработки автоматизированной системы допечатной подготовки изображений / Н.Е. Кулишова, И.Б. Чеботарева, Кулишов М.А. // Тез. докл. II Международ. научн.-практич. конф. «Информационные системы и технологии». – 2013. – С. 146-147.
3. Монич Ю.И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю. И. Монич, В. В. Старовойтов // Искусственный интеллект. – 2008. – №4. – С. 376-386.
4. You, J., Reiter, U., Hannuksela, M.M., Gabbouj, M., Perkis, A.: Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: a survey. Signal Process. Image Commun. 25(7), 482–501 (2010).
5. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., Simoncelli, E.P.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE Trans. Image Process. 13(4), 600–612 (2004).
6. H. R. Sheikh, A. C. Bovik. Image Information and Visual Quality. IEEE Trans. Image Process. 15(2), 430–444 (2006).
7. Чеботарева И.Б. Использование нечетких оценок для классификации искажений цифровых оригиналов / И.Б. Чеботарева, Н. Е. Кулишова // Тез. докл. XXIII III Международ. научн.-практич. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – 2015. – ч. IV. – С.253.
8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М: Мир, 1976. – 165 с.
9. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
10. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электр. ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php
11. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей : Примеры использования. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.
12. Раскин Л.Г., Серая О.В. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения. – Х.: Парус, 2008. – 352 с.
13. Формирование нечеткой оценки светлоты цифровых оригиналов / И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2015. – № 1(84). – С. 85-90.
14. Чеботарева И.Б. Использование метода «Дельфи» для экспертного определения границ нечетких оценок // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам 5-й Международной научно-практической конференции. – 2015. – Т.1. – С.216-223.
15. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.

Literatura

1. Chebotareva I.B. Avtomatizatsiya obrabotki izobrazheniy v otkryityih poligraficheskih sistemah / I.B. Chebotareva, N.E. Kulishova, P.N. Maslov, V.A.Maslova // Tez. dokl. III Mezhdunarod. nauch.-praktich. konf. «Informatsionnyie sistemyi i tehnologii». – 2014. – S. 230-231.

2. Kulishova N.E. Etapyi razrabotki avtomatizirovannoy sistemyi dopechatnoy podgotovki izobrazheniy / N.E. Kulishova, I.B. Chebotareva, Kulishov M.A. // Tez. dokl. II Mezhdunarod. nauch.-praktich. konf. «Informatsionnyie sistemyi i tehnologii». – 2013. – S. 146-147.
3. Monich Yu.I. Otsenki kachestva dlya analiza tsifrovyih izobrazheniy / Yu. I. Monich, V. V. Starovoytov // Iskusstvennyiy intellekt. – 2008. – №4. – S. 376-386.
4. You, J., Reiter, U., Hannuksela, M.M., Gabbouj, M., Perkis, A.: Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: a survey. Signal Process. Image Commun. 25(7), 482–501 (2010).
5. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., Simoncelli, E.P.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. IEEE Trans. Image Process. 13(4), 600–612 (2004).
6. H. R. Sheikh, A. C. Bovik. Image Information and Visual Quality. IEEE Trans. Image Process. 15(2), 430–444 (2006).
7. Chebotareva I.B. Ispolzovanie nechetkih otsenok dlya klassifikatsii iskazheniy tsifrovyih originalov / I.B. Chebotareva, N. E. Kulishova // Tez. dokl. XXIII Mezhdunarod. nauch.-praktich. konf. «Informatsionnyie tehnologii: nauka, tehnika, tehnologiya, obrazovanie, zdorove». – 2015. – ch. IV. – S.253.
8. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyih resheniy. M: Mir, 1976. – 165 s.
9. Altunin A.E., Semuhin M.V. Modeli i algoritmyi prinyatiya resheniy v nechetkih usloviyah: Monografiya. Tyumen: Izdatelstvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. – 352 s.
10. Shtovba S.D., Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv i nechetkuyu logiku [Elektr. resurs]. – Rezhim dostupa: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php
11. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinyatie resheniy na osnove nechetkih modeley : P¬rimeryi ispolzovaniya. – Riga : Zinatne, 1990. – 184 s.
12. Raskin L.G., Seraya O.V. Nechetkaya matematika. Osnovyi teorii. Prilozheniya. – H.: Parus, 2008. – 352 s. Formirovanie nechetkoy otsenki svetlotyi tsifrovyih originalov / I.B. Chebotareva, N.E. Kulishova // Bionika intellekta: nauch.-tehn. zhurnal. – 2015. – № 1(84). – S. 85-90.
13. Chebotareva I.B. Ispolzovanie metoda «Delfi» dlya ekspertnogo opredeleniya granits nechetkih otsenok // Informatika, matematicheskoe modelirovanie, ekonomika: Cbornik nauchnyih statey po itogam 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – 2015. – T.1. – S.216-223.
14. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB. – SPb.: BHV Peterburr, 2005. – 736 s.

RESUME

I.B. Chebotarova, N.Ye. Kulishova

Membership Functions for a Resolution and Size Variables in Fuzzy Image Quality Evaluation

To automate the process of improving digital originals before printing, it is necessary to solve the problem of classification of digital originals distortions, which in most cases it is impossible to objectively evaluate by the numerical methods. One of the most effective tools for this problem solving are the elements of the theory of decision-making - in particular, the expert evaluation and fuzzy knowledge methods that allow to formalize the opinion of the expert group about specific image defects.

In this paper a method of constructing the membership functions for linguistic variables "Image Size" and "Image resolution" is considered. For this purpose it has been prepared a set of images, for which the numerical values of the basic variables of the resolution and size were found. The term set of linguistic variables for the "Image Size" and "Image resolution" was formed. On the basis of the expert estimation, a subjective image analysis by observers was made; forms of membership functions for each term of the linguistic variables were chosen.

For the linguistic variable "Image resolution" is proposed to use the triangular and trapezoidal membership functions. For the variable "Image Size" has been proposed to use sigmoidal, bell-shaped and s-shaped functions. After evaluation of the terms boundary values of these functions their graphics were built.

Надійшла до редакції 02.09.2016

